

УДК 502.51:504.5

Vasyl Maruschak, postgraduate

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6935-9949> **e-mail:** stydjaga.fo.ru@gmail.com

Taras Volynets, postgraduate

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-4680> **e-mail:** alhimiktv@ukr.net

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

INFORMATION SYSTEMS OF DECIPHERING IMAGES USING AEROSPACE TECHNOLOGIES

Abstract. *The work is devoted to solving a scientific and practical task, which consists in the development of methods, technologies and means of creating an information system for deciphering images using aerospace technologies. Modern aerospace technologies are a tool for obtaining highly accurate data on the state of the environment, natural-technical complexes and infrastructure facilities. In addition, remote sensing of the Earth (DSR) allows to quickly obtain images of the surface of the studied territory at various spatial and spectral levels, which contributes to a more detailed analysis of ecological processes, monitoring of territories, assessment of the consequences of anthropogenic activities and armed conflicts. In the conditions of the rapid development of space technologies, the application of information systems for deciphering satellite and aerial photographs is relevant. The purpose of the work is to decipher the image to obtain an official object of reliable documentary data about the area and the objects located on it. This includes the identification, analysis and interpretation of the received images for the prompt introduction of changes in the territories, assessment of the condition of infrastructure facilities, natural and man-made systems. The obtained data contribute to effective monitoring and decision-making in the areas of environmental management, environmental protection, as well as in situations related to ensuring national security.*

These systems are based on methods of automatic recognition and visual analysis, which allows to significantly increase the speed and accuracy of identification of objects, changes in the environment and risk forecasting. Cosmosphere and others, opens opportunities for detailed analysis of man-made impacts, identification of ecological threat zones, monitoring of the condition of forest areas, water resources and other key components of the ecosystem.

Keywords: *information technologies, deciphering, satellite and aerial photographs, image interpretation, spectral channels, remote methods, natural and technical complexes, infrastructure objects.*

В.М. Марущак, Т.В. Волинець

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
м. Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЕШИФРУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

***Анотація.** Роботу присвячено розв'язанню науково-практичного завдання, що полягає в розробці методів, технологій та засобів створення інформаційної системи дешифрування зображень з використанням аерокосмічних технологій. Сучасні аерокосмічні технології є інструментом для отримання високоточних даних про стан навколишнього середовища, природно-технічних комплексів та об'єктів інфраструктури. Крім цього, дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) дозволяє оперативно отримувати зображення поверхні досліджуваної території на різних просторових і спектральних рівнях, що сприяє більш детальному аналізу екологічних процесів, моніторингу територій, оцінці наслідків антропогенної діяльності та збройних конфліктів. В умовах стрімкого розвитку космічних технологій актуальним є застосування інформаційних систем для дешифрування супутникових та аерофотознімків.*

Метою роботи є здійснення дешифрування зображення для отримання офіційного об'єкта достовірних документальних даних про місцевість та розташовані на ній об'єкти. Це включає ідентифікацію, аналіз та інтерпретацію отриманих зображень для оперативного внесення змін на територіях, оцінки стану об'єктів інфраструктури, природних та техногенних систем. Отримані дані сприяють ефективному моніторингу та прийняттю рішень у сферах екологічного управління, охорони довкілля, а також у ситуаціях, пов'язаних із забезпеченням національної безпеки.

Ці системи базуються на методах автоматичного розпізнавання та візуального аналізу, що дозволяє суттєво підвищити швидкість і точність ідентифікації об'єктів, змін у довкіллі та прогнозування ризиків. Використання даних із супутників високої роздільної здатності, таких як Махат, Космосфера та інші, відкриває можливості для детального аналізу техногенних впливів, визначення зон екологічних загроз, відстеження стану лісових масивів, водних ресурсів та інших ключових компонентів екосистеми.

***Ключові слова:** інформаційні технології, дешифрування, супутникові та аерофотознімки, інтерпретація зображень, спектральні канали, дистанційні методи, природно-технічні комплекси, об'єкти інфраструктури.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.4.135-144>

Вступ

Сучасні аерокосмічні технології є інструментом для отримання високоточних даних про стан навколишнього середовища, природно-технічних комплексів та об'єктів інфраструктури. Крім цього, дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) дозволяє оперативно отримувати зображення поверхні досліджуваної території на різних просторових і спектральних рівнях, що сприяє більш детальному аналізу екологічних процесів, моніторингу територій, оцінці наслідків антропогенної діяльності та збройних конфліктів. В умовах стрімкого розвитку космічних технологій особливо актуальним є застосування інформаційних систем для дешифрування супутникових та аерофотознімків.

Ці системи базуються на методах автоматичного розпізнавання та візуального аналізу, що дозволяє суттєво підвищити швидкість і точність ідентифікації об'єктів, змін у довкіллі та прогнозування ризиків. Таким чином, використання даних із супутників високої роздільної здатності, таких як Махаг, Космосфера та інші, відкриває можливості для детального аналізу техногенних впливів, визначення зон екологічних загроз, відстеження стану лісових масивів, водних ресурсів та інших ключових компонентів екосистеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження зосереджені на вдосконаленні методів аналізу вищих спектральних компонентів та мультиспектральних знімків, що дозволяє отримати більш точну інформацію про стан рослинності, водних об'єктів і поверхневих змін. Завдяки такому підходу, на основі аналізу спектральних характеристик, можна більш ефективно ідентифікувати різні типи покриття землі, що є основою для моніторингу екологічного стану в реальності. Останні дослідження в галузевих інформаційних системах для дешифрування зображення з використанням аерокосмічних технологій вказують на суттєвий розвиток методів автоматизованого аналізу даних, що дозволяє підвищити точність і швидкість оцінки як екологічних, так і техногенних процесів. Також підкреслюється важливість інтеграції різноманітних типів даних для забезпечення ефективного управління природними ресурсами та військових цілей. В Україні значний внесок у космічні дослідження зробили: Лялько В.І., який займався спектральними характеристиками рослинного покриття [1, 2]; Попов М.О., який розробляє методи прогнозування врожайності зернових культур на основі багатоспектральних даних ДЗЗ [3]; Трофимчук О.М., Красовський Г.Я. і Греков Л.Д., які займаються космічним моніторингом забруднення земель [4, 5] та інші.

Метою роботи є дешифрування та своєчасне одержання документальних даних про місцевість та розташовані на ній об'єкти.

Усі задачі дешифрування можна розділити на дві загальні групи:

- задачі щодо отримання узагальненої інформації про поверхню Землі;
- задачі щодо визначення наявності об'єктів на земній (водній) поверхні Землі.

Перша група задач включає виявлення стану дорожньої мережі, населених пунктів, гідрографії, рослинності й інших елементів тактичних властивостей місцевості.

Друга група задач це – розвідка наземних об'єктів противника, що включає в себе процес виявлення, розпізнавання й інтерпретації розташованих на місцевості об'єктів по їх зображеннях на знімку, а також визначення їх кількісних і якісних характеристик.

Виклад основного матеріалу дослідження

Дешифрування є комплексним процесом, який включає в себе виявлення, розпізнавання та інтерпретацію об'єктів на знімках з метою визначення їх повноцінних і якісних характеристик. На початковому етапі виявлення здійснюється сприйняття об'єкта на зображенні, без розпізнавання його сутності. Це дозволяє розмістити, дешифрувати об'єкт, але не дає можливості відразу зрозуміти, що саме на зображенні. Процес визначення також включає оцінку відношення сигналу/шуму, що дозволяє виділити критерій важливого

елемента. Після виявлення настає етап розпізнавання, коли розглядаються складові ознаки об'єкта, і на основі порівняння з відомими моделями або базами даних визначається його сутність [6]. Тут важливо розмежувати подібні об'єкти і правильно класифікувати їх за характеристиками. Розпізнавання дозволяє встановити, що саме зображено на знімку – наприклад, це може бути конкретний тип рослинного покриття, вид транспорту чи військовий об'єкт.

Методом дешифрування є своєчасне отримання документальних даних про місцевість та її об'єкти, які можуть бути критично важливими для прийняття управлінських рішень. В окремих випадках дешифрування включає правильне розпізнавання і класифікацію об'єктів, визначення їх кількісних характеристик, взаємозв'язків, стану і характеру діяльності.

Для досягнення цих цілей фахівців необхідно виконати кілька важливих вимог до процесу дешифрування. Оперативність обробки знімків забезпечує швидке й ефективне дешифрування зображення, визначення координат об'єктів і підготовку документації у встановлений термін. Своєчасність характеризує виконання робіт у потрібний час, а об'єктивність гарантує достовірність отриманих даних, збереження суб'єктивізму. Повне дешифрування забезпечує детальність характеристик об'єктів, ретельність забезпечує повний огляд всього зображення з певних місцевих умов, що дозволяє уникнути помилок. Вірогідність результатів гарантує точність та коректність інформації, а наочність результатів забезпечує надання даних у зручному вигляді, який може бути усним, письмовим, графічним.

Дешифрування за ступенем своєї складності відноситься до інтелектуальних процесів, виконання яких вважалося прерогативою тільки людини. Однак спроби створення систем штучного інтелекту роблять реальною перспективу виконання дешифрування знімків із застосуванням програмно-технічних комплексів обробки зображень (ПТКОЗ). Виходячи з цього, можна виділити три способи виконання дешифрування:

- 1) **візуальний**, при якому інформація із зображення зчитується зоровим апаратом дешифрувальника і дешифрувальником же аналізується;
- 2) **автоматичний**, при якому процес дешифрування цілком виконується штучною системою – ПТКОЗ;
- 3) **автоматизований**, при якому в процесі дешифрування дешифрувальник користується допомогою ПТКОЗ.

Оскільки більшість знімків є дрібномасштабними і низькоконтрастними, то при візуальному дешифруванні широко застосовуються різні оптичні й оптико-електронні прилади, що дозволяють поліпшити умови розглядання зображень людиною.

Можливості автоматичного дешифрування знімків у даний час активно вивчаються. Вже створені експериментальні зразки системи автоматичного дешифрування, що забезпечують виявлення районів зосередження техніки, інженерного обладнання, злітно-посадкових смуг, розпізнавання літаків, кораблів, полігонів, аеродромів. Дослідження таких зразків показує, що при досить вузькій предметній області системи автоматичного дешифрування можуть забезпечити ефект, порівнянний з результатами візуального дешифрування. Інший підхід полягає у використанні когерентно-оптичних засобів, для яких зображення є природною формою представлення оброблюваних сигналів.

Особливе значення при автоматизованому дешифруванні має програмне забезпечення обробки даних і наявність та характеристики пристроїв введення/виведення зображень. Однак на всіх етапах обробки – пріоритет у прийнятті рішення належить людині.

Дешифруватися можуть як поодинокі знімки, так і комплекти знімків із зображеннями району зйомки. Якщо при дешифруванні здійснюється порівняння різних зображень, виконаних у різний час, у різних спектральних діапазонах, еталонних тощо, то такий метод дешифрування називається методом порівняння [7].

Якщо є два знімки, що утворюють стереопару, і проводиться аналіз цієї стереопари з дотриманням визначених оптичних умов, то такий метод дешифрування називається стереоскопічним.

Особливості використання прямих, непрямих дешифрувальних ознак при пошуку об'єктів та визначення їхніх елементів. Всі об'єкти, розташовані на поверхні Землі, можна класифікувати за різними ознаками. Однак для теорії і практики військового дешифрування найбільше значення має класифікація в залежності від складності і складу об'єктів, що враховує суть пізнавального процесу і підрозділяє їх на прості і складні.

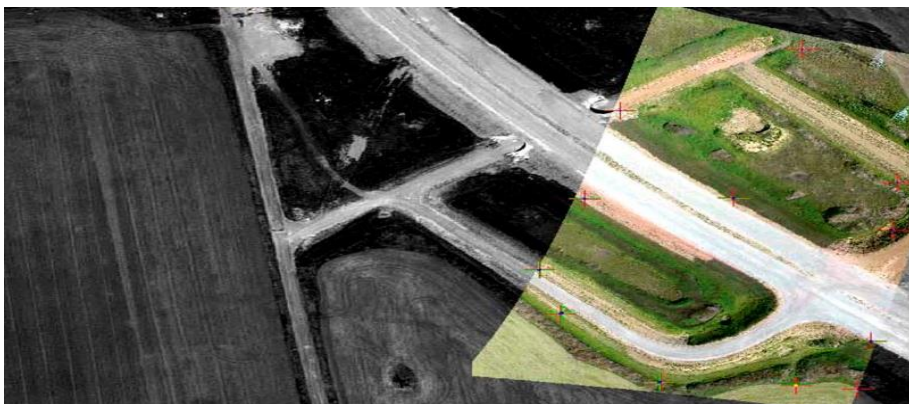


Рис. 1. Прості об'єкти дешифрування

Простими об'єктами називаються окремі природні або штучні предмети (споруди, утворення), що знаходяться на земній або водній поверхні і виконують одну визначену функцію (корабель, будинок, перехрестя, дерево, луг) (рис. 1).

Складними об'єктами називаються природні або штучні комплекси, що займають значні за розмірами площі, виконують конкретні функції і складаються із сукупності однакових або різних простих об'єктів, що знаходяться у визначеному взаємозв'язку (аеродром, зосередження військ, порт, ділянка місцевості) (рис. 2).

У випадку, коли обробка відео проводиться після приземлення БПЛА, слід періодично робити паузу в перегляді, для більш детального вивчення окремих ділянок кадру. Для цього слід користуватися функцією «Пауза» програмного відеопрограваача для виявлення підозрілих об'єктів, або ж після впевненого виявлення об'єктів слід зробити «скріншот» кадру відеознімання (рис. 3).



Рис. 2. Складні об'єкти дешифрування



Рис. 3. Знімок «скріншот» кадру відеознімання

Під час обробки окремих відеокадрів необхідно дотримуватись обов'язкового правила: роздільна здатність монітору, на якому здійснюється перегляд відео, має бути не меншою, аніж роздільна здатність самого відео. Інакше, буде втрачена детальність зображення, а ймовірність виявлення та розпізнавання зображень об'єктів буде зменшена.

Якщо за прямими розпізнавальними ознаками об'єкт не виявлений, то це не завжди означає, що його на знімку немає. Треба пам'ятати, що як би ретельно не був замаскований об'єкт, на місцевості завжди залишаються сліди діяльності людей і техніки.

Повнота інформації про складний об'єкт, ступінь розкриття його сутності, стану і характеру дій залежать від детальності інформації про його складові – прості об'єкти. Для того щоб не втратити інформацію, не спотворити характеристики складного об'єкта, потрібно оперувати більш загальними поняттями, ніж поняття окремого простого об'єкта. В дану основу покладено поняття класифікації простих об'єктів щодо розпізнавальних ознак, призначення та їх основних характеристик.

Усі військові об'єкти при розміщенні і переміщенні на місцевості й у просторі, а також при функціонуванні відповідно до свого прямого призначення виявляють себе низкою ознак, що дозволяють впізнавати ці об'єкти.

Дешифрувальні ознаки є засобом вивчення і розрізнення зображень об'єктів. Однак у більшості випадків не дешифрувальні, а демаскуючі ознаки служать підставою для ухвалення рішення при розпізнаванні об'єктів по їх зображеннях [7].

Звичайно під ознаками об'єктів розуміють усе те, по чому можна довідатися, визначити або описати об'єкти. Необхідною умовою використання ознаки в якості демаскуючої є можливість виявлення об'єкта за допомогою технічних засобів моніторингу (ТЗМ).

Таким чином, під дешифрувальними ознаками будемо розуміти одержувані за допомогою ТЗМ ознаки об'єктів, за якими ці об'єкти можна виявити і розпізнати. Дешифрувальні ознаки, за якими об'єкти виявляються, будемо називати первинними, а ознаки, за якими об'єкти розпізнаються, – вторинними.

Необхідно відзначити, що якщо вторинні демаскуючі ознаки є постійними, то первинні дешифрувальні ознаки непостійні, вони залежать від освітлення, метеоумов, сезону року, умов зйомки і т.д. У ряді випадків динаміка зміни дешифрувальних ознак протягом визначеного часу, наприклад протягом доби, або при різних умовах освітлення і зйомки може стати додатковою дешифрувальною ознакою.

До первинних дешифрувальних ознак відносяться тон, колір і структура поверхні (рис. 4).



Рис. 4. Первинні дешифрувальні ознаки

Такі ознаки можна назвати індивідуальними. Це ознаки конкретних типів об'єктів, для впізнання яких можуть бути важливі навіть дрібні, на перший погляд незначні деталі.

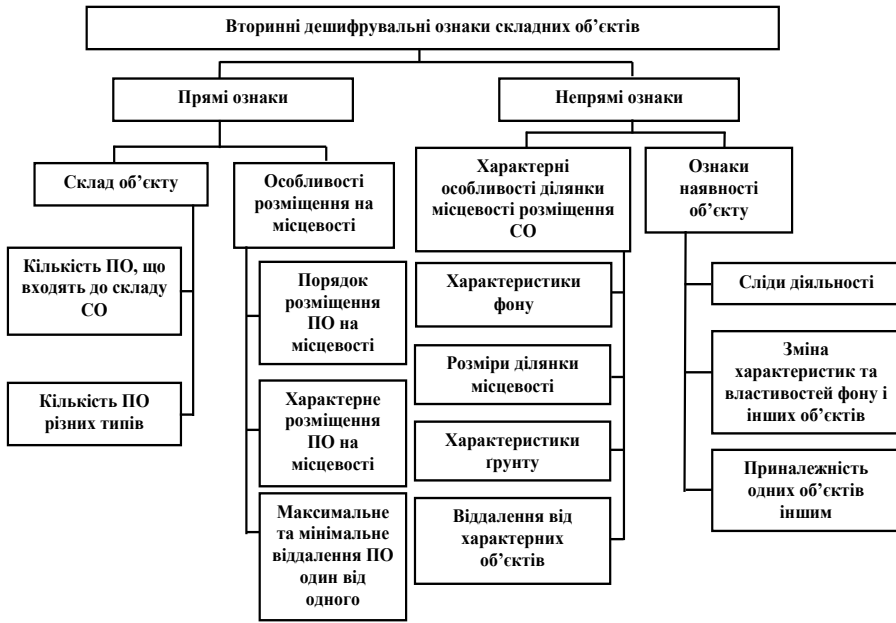


Рис. 5. Вторинні дешифрувальні ознаки

Вторинні дешифрувальні ознаки простих об'єктів іноді називають технічними демаскуючими ознаками. До прямих демаскуючих ознак відносяться форма, деталі, розміри (рис. 5).

Отже, дешифрувальні ознаки можна розділити на кількісні, які мають числове вираження, та якісні, такі як форма об'єктів. Успішне виконання процесу дешифрування залежить від багатьох об'єктивних і суб'єктивних факторів, які впливають на психофізіологічну діяльність фахівців і можуть бути згруповані в три групи.

До першої групи належать характеристики матеріалів, які використовуються для дешифрування. Це такі фактори, як роздільна здатність фото- та відеоматеріалів, тип і характер зображення, наявність метричних і геометричних викривлень, а також якість і висока якість обробки знімків радіотактів. За цією характеристикою значною мірою відрізняються точність і чіткість зображень.

Друга група охоплює технічне забезпечення дешифрувального процесу. Сюди входить ефективне використання наявних технічних засобів і допоміжних матеріалів, таких як довідники та бази даних, які сприяють підвищенню точності розпізнавання та інтерпретації.

Третя група факторів включає класифікацію об'єктів та вимоги до повноти і деталізації дешифрування. Вони суттєво впливають на швидкість і якість отримання інформації, значно повніше та швидше можна провести розпізнавання.

Висновки

Відповідність класифікації та вимоги до розшифровки задач допоможуть формалізувати процес аналізу зображення, розгорнути послідовність виконання робіт і правильно оформити отримані результати.

Таким чином, для досягнення високої ефективності дешифрування необхідно врахувати всі зазначені фактори та забезпечити їх оптимальну інтеграцію в процес обробки даних. Це дозволяє підвищити точність, справедливість та об'єктивність оцінки, що є ключовими умовами для отримання надійних і корисних результатів у сфері аерокосмічного моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Красовський Г.Я., Трофимчук О.М., Крета Д.Л., Клименко В.І., Пономаренко І.Г., Суходубов О.О. (2005). Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків. *Екологія і ресурси*, 12, 37–55.
2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebuchuk, H. (2013). Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling*. Springer, Berlin, Heidelberg. 347–352.
3. Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. (2021). Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; Івано-Франківський нац. тех. ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 343 с. ISBN 978-617-7468-53-9.
4. Машков О.А.; Триснюк В.М.; Мамчур Ю.В.; Жукаускас С.В.; Нігородова С.А.; Курило А.В. (2019). Новий підхід до синтезу відновлюючого керування для дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 1(19), 69–77. Івано-Франківськ: Симфонія форте. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/162108/03-Mashkov.pdf?sequence=1>
5. Триснюк В.М. (2016). Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. *Системи обробки інформації*, 12, 185–188. Index Copernicus.
6. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. (2019). Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics. Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.
7. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare*, 1, 61–67.

Стаття надійшла до редакції 10.07.2024 і прийнята до друку після рецензування 14.10.2024

REFERENCES

1. Krasovsky, G.Ya., Trofymchuk, O.M., Kreta, D.L., Klymenko, V.I., Ponomarenko, I.G., & Sukhodubov, O.O. (2005). Synthesis of cartographic models of land pollution by man-made dust using space images. *Ecology and resources*, 12, 37-55 [in Ukrainian].
2. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebuchuk, H. (2013). Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. In *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling* (pp. 347-352). Springer, Berlin, Heidelberg.
3. Trofymchuk, O.M., Adamenko, O.M., & Trysnyuk, V.M. (2021). Geoinformation technologies for environmental protection of the nature reserve fund. Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine; Ivano-Frankivsk national technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk: Suprun V.P. [in Ukrainian].

4. Mashkov, O.A., Trysnyuk, V.M., Mamchur, Y.V., Zhukauskas, S.V., Nigorodova, S.A., & Kurylo, A.V. (2019). A new approach to the synthesis of restorative control for remotely piloted aerial vehicles for environmental monitoring. *Environmental safety and balanced resource use: science and technology journal*, 1(19), 69-77 [in Ukrainian].
5. Trysnyuk, V.M. (2016). Environmental safety management system of natural and anthropogenically modified geosystems. *Information processing systems*, 12, 185-188 [in Ukrainian].
6. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., & Radlowska, K.O. (2019). Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. In *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, Extended Abstracts.
7. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., & Nikitin, A. (2018). Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare*, 1, 61-67.

The article was received 10.07.2024 and was accepted after revision 14.10.2024

Марущак Василь Миколайович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

Адреса робоча: Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6935-9949> **e-mail:** stydjaga.fo.ru@gmail.com

Волинець Тарас Васильович

аспірант Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору
Національної академії наук України

Адреса робоча: Україна, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-4680> **e-mail:** alhimiktv@ukr.net